

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

## OPTICAL FIBER RAMAN SOLITON LASER

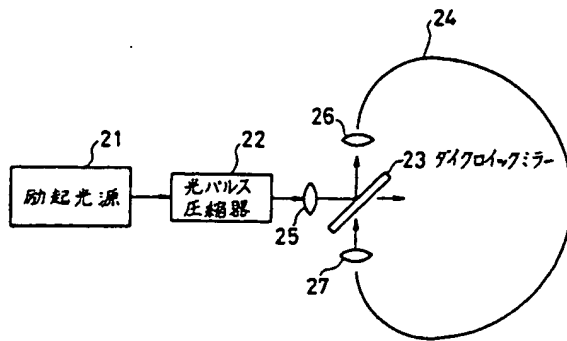
Patent Number: JP63202085  
Publication date: 1988-08-22  
Inventor(s): AOMI YOSHIYUKI; others: 01  
Applicant(s):: NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
Requested Patent: ☐ JP63202085  
Application Number: JP19870033512 19870218  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01S3/30 ; H01S3/06 ; H01S3/094  
EC Classification:  
Equivalents: JP2056854C, JP7095618B

### Abstract

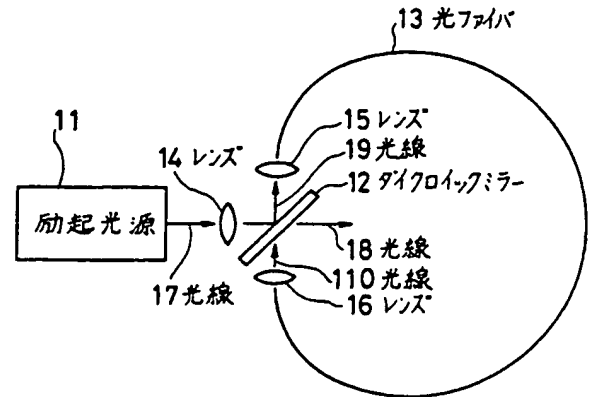
**PURPOSE:** To obtain high output light soliton in a specific range which is the lowest loss band of silica optical fiber by adequately combining the pumping source and the optical fiber.

**CONSTITUTION:** With combination of an optical fiber 25 where P2O5 is doped to the core and a YAG laser 21, shift of wavelength of Stokes light can be set large. Therefore, the Stokes light of 1.5μm band can be obtained with the direct pumping source of the YAG laser 21. Accordingly, a pumping source of large output can be used and the soliton output, several times larger than that of the color center laser, can be realized. Moreover, since the erbium laser 21 provides the oscillation wavelength of about 1.54μm and an output almost equal to that of YAG laser. With combination of the erbium laser 21 and GeO2 doped quartz core of pure quartz core fiber, the Stokes light can be obtained in the vicinity of 1.65μm. The silica optical fiber shows sufficiently low loss even in the wavelength of 1.65μm and therefore it can sufficiently be put into the practical use.

Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - 12



本発明実施例の構成図  
第 1 図



従来例の構成図  
第 2 図

## ⑫ 公開特許公報(A)

昭63-202085

⑤ Int.Cl.<sup>4</sup>H 01 S 3/30  
3/06  
3/094

識別記号

庁内整理番号

7630-5F  
7630-5F  
7630-5F

④ 公開 昭和63年(1988)8月22日

審査請求 未請求 発明の数 2 (全6頁)

⑬ 発明の名称 光ファイバラマンソリトンレーザ

⑰ 特 願 昭62-33512

⑱ 出 願 昭62(1987)2月18日

⑲ 発 明 者 青 海 恵 之 茨城県那珂郡東海村大字白方字白根162番地 日本電信電話株式会社茨城電気通信研究所内

⑳ 発 明 者 中 沢 正 隆 茨城県那珂郡東海村大字白方字白根162番地 日本電信電話株式会社茨城電気通信研究所内

㉑ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉒ 代 理 人 弁理士 谷 義 一

## 明 細 書

コアにP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を含むことを特徴とする光ファイバラマンソリトンレーザ。

## 1. 発明の名称

光ファイバラマンソリトンレーザ

## 2. 特許請求の範囲

1) 光の伝搬経路が光閉ループを成し、該光閉ループは光ファイバと当該光閉ループに光を入射しあるいは当該光閉ループから光を取り出すための光結合器を含み、光源から一定時間間隔で光パルスが発生させ、その光パルス列を前記光結合器から前記光閉ループに入射させ、その入射した光パルスにより前記光ファイバ中で誘導ラマン散乱光パルスを発生させ、該誘導ラマン散乱光パルスが前記光閉ループ内を伝搬して前記光結合部に通達すると同時に、前記光パルス列の他の1つの光パルスが前記光結合部に入射するように前記光閉ループの光路長を調節した光ファイバラマンソリトンレーザにおいて、前記光源は波長1.32μmまたは1.34μmで発振するYAGレーザであり、前記光ファイバの

2) 光の伝搬経路が光閉ループを成し、該光閉ループは光ファイバと当該光閉ループに光を入射しあるいは当該光閉ループから光を取り出すための光結合器を含み、光源から一定時間間隔で光パルスが発生させ、その光パルス列を前記光結合器から前記光閉ループに入射させ、その入射した光パルスにより前記光ファイバ中で誘導ラマン散乱光パルスを発生させ、該誘導ラマン散乱光パルスが前記光閉ループ内を伝搬して前記光結合部に通達すると同時に、前記光パルス列の他の1つの光パルスが前記光結合部に入射するように前記光閉ループの光路長を調節した光ファイバラマンソリトンレーザにおいて、前記光源はエルビウムレーザであり、前記光ファイバのコアにGeO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>およびFの少くとも一つを含むことを特徴とする光ファイバラマンソリトンレーザ。

## 3. 発明の詳細な説明

## 〔産業上の利用分野〕

本発明は、光パルス幅が数ピコ秒以下であって、高速度の光通信に適用しうる光ソリトンを発生する光ファイバラマンソリトンレーザに関するものである。

## 〔従来の技術〕

この種の光ファイバラマンソリトンレーザの基本構成は既に文献に述べられている（たとえば、①中沢，“ソリトン・レーザ”，固体物理，Vol. 21, No. 9, pp. 47-57 (1986)，②M. N. Islam, L. F. Mollenauer, "Fiber raman amplification soliton laser," XIV International Conference on Quantum Electronics, Digest of Technical Papers, TUHH1, San Francisco, 1986参照）。

まず、光ソリトンについて概説する。

光パルスの時間幅（以下パルス幅という）が1ピコ秒程度以下で、尖頭値が10mW以下程度の光パルスが光ファイバ中を伝搬すると、一般にパルス

のような光パルスを光ソリトンと呼んでおり、時間波形はセコンドハイパブリック (sech) の形をしていることが知られている。

つぎに、誘導ラマン散乱について概説する。

光ファイバ中を尖頭値強度1W程度以上の光パルスや連続光が入射して伝搬すると、光ファイバ中に入射した光の周波数とは異なる光が発生する。これは光ファイバを構成する格子の固有振動で入射光が変調されるためである。光強度が大きいと、変調されて発生した光が格子の振動に寄与するようになり、発振状態に到る。新たに発生する光は、光ファイバの場合は波長が入射光の波長より長く、ストークス光と呼ばれる。この状態では光ファイバはストークス波長で利得をもつ媒体と等価である。

ここで、従来の光ファイバラマンソリトンレーザの基本構成図を第2図に示す。

第2図において、11は光パルス列を発生する励起光源、12は光の結合器としてのダイクロイックミラー、13は光ファイバ、14, 15 および16はレン

幅は大きくなる。この原因は、光の伝搬速度が光の波長に依存する、いわゆる群速度分散の効果によるものである。光源から発せられる光がパルス状であると、理想的な光源であっても側帯波が生じるので、この影響を避けられない。伝搬する光の強度が例えば尖頭値で100mW程度以上に大きくなると、光ファイバにおける光が通過する部分（コアという）の屈折率が光強度の関数となり（光カー効果という）、前記の光パルスの伝搬とは異なった伝搬をする。光カー効果は、光パルスの立ち上がり部分の光の波長を長波長側に、また光パルスの立ち下がり部分の光の波長を短波長側にシフトさせる作用をもち、光の自己位相変調と呼ばれている。石英系光ファイバは通常1.3 μm帯において群速度分散が零となり、それより長波長側は異常分散領域と呼ばれ、この領域では波長が長い程伝搬速度は遅くなる。以上のことから、異常分散領域で強い光パルスが伝搬していると自己位相変調効果と群速度分散がつり合ってパルス幅が変化しない光パルスの存在が理解できる。こ

ず、17, 18, 19および110は光線である。

ここで、光の伝搬経路は、光ファイバ13とレンズ26および27とダイクロイックミラー12とで光閉ループを形成する。このダイクロイックミラー12は、かかる光閉ループに光を入射し、あるいはこの光閉ループから光を取り出す光結合器である。

励起光源からは、一定時間間隔で光パルスを生起させ、その光パルスの列を光結合器としてのダイクロイックミラー12を介して光閉ループに入射させる。光閉ループ中の光ファイバ12には、その入射した光パルスによって誘導ラマン散乱光パルスが発生する。ここで、この誘導ラマン散乱光パルスが光ファイバ12を伝搬してダイクロイックミラー12に到達すると同時に、他の光パルスがこのダイクロイックミラー12に入射するように、光閉ループの光路長を調節しておく。

第2図において、励起光源11はカラーセンタレーザであり、パルス幅10ピコ秒程度、尖頭値100W程度のパルス出力光を発生する。この出力光の波

長は可変であるが、例えば $1.45\mu\text{m}$ である。ダイクロミックミラー12は波長 $1.45\mu\text{m}$ では反射し、波長 $1.55\mu\text{m}$ では30%反射する波長依存性を持っている。励起光源11からの出力光線17はレンズ14によりダイクロミックミラー12に導かれ、ここで反射光線19はレンズ15を介して光ファイバ13に導かれる。

光ファイバ13は長さ500mの単一モード偏波保持ファイバであり、 $1.3\mu\text{m}$ 付近に零分散波長をもつ。前述の励起光源11からの光パルスが光ファイバ13を伝搬すると、自己位相変調効果と誘導ラマン散乱が生ずるが、パルス幅が広いと、自己位相変調効果は小さい。励起光とストークス光は光ファイバ13を伝搬し、レンズ16により集光して得た光線110が再びダイクロミックミラー12に入射する。このミラー12で励起光は反射し、光線18として光学系の外部に放出されるが、ストークス光のかなりの部分はミラー12からレンズ15を介して光ファイバ13に再入射する。この再入射と同時に励起光源11からの他の光パルスが入射するよう

ぶ)。

〔発明が解決しようとする問題点〕

一方、石英系光ファイバの最低損失波長は $1.55\mu\text{m}$ 付近にあるため、この波長でストークス光を得るためには、励起光源波長としては $1.45\mu\text{m}$ 程度が必要である。このような発振波長をもつ励起光源としてはカラーセンタレーザがあるのみであるが、かかるカラーセンタレーザを用いて光ファイバラマンソリトンを発生させるためには、一般には入手不可能な特殊なレーザ用結晶が必要であり、しかもまた、かかるカラーセンタレーザであって出力が小さく波長可変範囲も小さいという欠点を有する。

そこで、本発明の目的は、石英系光ファイバの最低光損失帯である $1.5\mu\text{m}$ および $1.6\mu\text{m}$ 帯で大きい出力をもつ光ファイバラマンソリトンレーザを提供することにある。

〔問題点を解決するための手段〕

このような目的を達成するために、本発明の第1形態は、光の伝搬経路が光閉ループを成し、光

、励起光源の光パルス励起速度あるいは光路長を調節しておくことによって、ストークス光は光ファイバ13を伝搬するとともに励起光によって増幅される。

定常状態では励起光源11の強度や光学系の光損失、光学系の光路長で決まるパルス幅や強度のストークス光パルス列をダイクロミックミラー12を通して光学系外に取り出し得る。光ファイバ13中のストークス光の強度が大きくなって自己位相変調効果をひき起こし、群速度分散の効果とつり合う程度になれば、ストークス光は前述の光ソリトンとなる。誘導ラマン散乱の利得帯域幅は数10nmにおよぶ程広く、また波長によって伝搬速度が異なるため、光路長を変化させることにより、光ソリトンの波長を可変とすることができる。

従来の光ファイバラマンソリトンレーザでは、光ファイバは $\text{GeO}_2$ ドープ石英コアまたは純石英コアをもつ光ファイバであるので、ストークス光は長波長側に約 $450\text{cm}^{-1}$ シフトする(シフト量は波長の逆数の差で表わされ、単位 $\text{cm}^{-1}$ をカイザと呼

ぶ)閉ループは光ファイバと当該光閉ループに光を入射しあるいは当該光閉ループから光を取り出すための光結合器を含み、光源から一定時間間隔で光パルスを発生させ、その光パルス列を光結合器から光閉ループに入射させ、その入射した光パルスにより光ファイバ中で誘導ラマン散乱光パルスを発生させ、誘導ラマン散乱光パルスが光閉ループ内を伝搬して光結合部に通達すると同時に、光パルス列の他の1つの光パルスが光結合部に入射するように光閉ループの光路長を調節した光ファイバラマンソリトンレーザにおいて、光源は波長 $1.32\mu\text{m}$ または $1.34\mu\text{m}$ で発振するYAGレーザであり、光ファイバのコアに $\text{P}_2\text{O}_5$ を含むことを特徴とする。

本発明の第2形態は、光の伝搬経路が光閉ループを成し、光閉ループは光ファイバと当該光閉ループに光を入射しあるいは当該光閉ループから光を取り出すための光結合器を含み、光源から一定時間間隔で光パルスを発生させ、その光パルス列を光結合器から光閉ループに入射させ、その入射

した光パルスにより光ファイバ中で誘導ラマン散乱光パルスを発生させ、誘導ラマン散乱光パルスが光閉ループ内を伝搬して光結合部に到達すると同時に、光パルス列の他の1つの光パルスが光結合部に入射するように光閉ループの光路長を調節した光ファイバラマンソリトンレーザにおいて、光源はエルビウムレーザであり、光ファイバのコアに $\text{GeO}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 、およびFの少なくとも一つを含むことを特徴とする。

#### 【作 用】

従来の技術では、励起光源としては特殊な結晶を用いるカラーセンタレーザを用いているが、カラーセンタレーザはYAGレーザを励起光源としていたので、YAGレーザの出力の数分の1の出力しか得られない欠点がある。これに対し、本発明によれば、コアに $\text{P}_2\text{O}_5$ をドープした光ファイバとYAGレーザとの組み合わせによって、ストークス光の波長シフト量を大きくできるので、YAGレーザを直接的な励起光源として1.5  $\mu\text{m}$  帯でのストークス光を得ることができる。したがって、本発

ファイバと格子ベア等による逆分散媒質で構成できる。なお、YAGレーザのモードロック出力のパルス幅が30ピコ秒以下であれば、かかる光パルス圧縮器22は不要であるが、100ピコ秒程度の場合には必要である。23はダイクロックミラーであって、波長1.5  $\mu\text{m}$  以下では光を反射し、波長1.5  $\mu\text{m}$  以上の光は30%以下の割合で反射させる反射特性を有する。24は光ファイバであり、そのコアには $\text{SiO}_2$ の他に $\text{P}_2\text{O}_5$ が10モル%以上含まれている。25、26 および27は、それぞれ、光パルス圧縮器22とダイクロックミラー23、ダイクロックミラー23と光ファイバ24の両端面の各間に配置されたレンズである。

ここで、光の伝搬経路が光閉ループを成し、その光閉ループは、光ファイバ24とその光閉ループに光を入射しあるいはその光閉ループから光を取り出すためのレンズ25、27 および光結合器としてのダイクロックミラー23とを含む。励起光源21からは、一定時間間隔で光パルスを発生し、その光パルス列を光結合器23から光閉ループに入射さ

明では、出力の大きい励起光源を利用でき、その結果、カラーセンタレーザに比較して数倍のソリトン出力が得られる。

また、エルビウムレーザは発振波長が1.54  $\mu\text{m}$  近傍にあり、出力もYAGレーザ程度であるため、エルビウムレーザと $\text{GeO}_2$ ドープ石英コアまたは純石英コアファイバとを組み合わせることによって、1.65  $\mu\text{m}$  近傍にストークス光が得られる。石英系光ファイバは1.65  $\mu\text{m}$  でも十分低損失であるので、このようにエルビウムレーザを用いる場合に、本発明は十分に高い実用的な利用価値をもつ。

#### 【実施例】

以下に図面を参照して本発明を詳細に説明する。

第1図は本発明の第一の実施例の基本構成であって、ここで、21は励起光源としてのYAGレーザであり、その発振波長は1.32  $\mu\text{m}$  または1.34  $\mu\text{m}$  である。22は光パルス圧縮器である。この光パルス圧縮器22は零分散が励起光源波長以上にある光

せ、その入射した光パルスにより光ファイバ24中で誘導ラマン散乱光パルスを発生させる。この誘導ラマン散乱光パルスは、光閉ループ内を伝搬して、光結合部23に到達する。それと同時に、光パルス列の他の1つの光パルスが光結合部23に入射するように光閉ループの光路長をあらかじめ調節しておく。

励起光源21からの光が光ファイバ24に入射すると、励起光強度は誘導ラマン散乱のしきい値より十分大きいのでストークス光が発生し、この光ファイバ24中を伝搬する。光パルスの尖頭値としては数kW以上が容易に得られる。

この光ファイバ24のコアには $\text{P}_2\text{O}_5$ と $\text{SiO}_2$ が存在するので、一般的には、 $\text{SiO}_2$ によるストークス光は約450 $\text{cm}^{-1}$ だけ波長がシフトし、 $\text{P}_2\text{O}_5$ によるストークス光は約1320 $\text{cm}^{-1}$ だけシフトする。コアに $\text{P}_2\text{O}_5$ を14.2モル%含む長さ600mの光ファイバに波長1.32  $\mu\text{m}$  のYAGレーザからの出力光を入射し、その入射光強度を増加していくと、光ファイバの出射端でストークス光が観測される。ここ

で、入射光強度が70W以下ではSiO<sub>2</sub>によるストークス光が支配的であるが、70W以上になるとP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>によるストークス光が支配的となる(K. Suzuki, K. Noguchi, and N. Uesugi, "Selective stimulated Raman scattering in highly P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-doped silica single-mode fibers", Optics Letters, Vol. 11, pp. 656-658 (1986) 参照)。

第1図において、光ファイバ24を伝搬してきたストークス光は波長が約1.60μmであり、ダイクロイックミラー23で一部は反射し、残りは再度光ファイバ24に入射する。このとき、同時に励起光源21からの光パルスが光ファイバ24に入射し、ストークス光はさらに増幅される。このような動作により、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>によるストークス光パワーは定常状態で位相変調効果をひき起こすのに十分な強度となり、ダイクロイックミラー23から光ソリトンとして光パルスを取り出すことができる。

本発明の第二の実施例では、第1図において、励起光源21をエルビウムレーザとなし、光ファイバ24をそのコアにGeO<sub>2</sub>またはSiO<sub>2</sub>またはFを含

む光ファイバとする。この場合にも、第一の実施例と同様の作用によって光ソリトンが得られる。

この場合には、エルビウムレーザの発振波長は1.54μmであり、GeO<sub>2</sub>またはSiO<sub>2</sub>またはFによるストークス光のシフト量は約450cm<sup>-1</sup>であるので、波長1.66μmのストークス光が得られる。この間の作用は前述のYAGレーザ21とP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>がドーブされたコアをもつ光ファイバ24との組合せで説明したことと同様であって、波長1.66μmの光ソリトンを取り出すことができる。

また、ダイクロイックミラー23としては波長1.6μm以下の光を反射し、波長1.6μm以上の光は30%以下の割合で反射するものが好適である。

以上の説明では、コアにGeO<sub>2</sub>またはSiO<sub>2</sub>またはFを含んだ例を示したが、これら材料が複数種類含まれていても同様に作用するものである。

#### [発明の効果]

以上説明したように、光ファイバラマンソリト

ンレーザにおいて、本発明によれば、励起光源と光ファイバとを適切に組み合わせることにより、石英系光ファイバの最低損失帯である1.5～1.6μm帯において高出力な光ソリトンを得ることができる。

#### 4.図面の簡単な説明

第1図は本発明光ファイバラマンソリトンレーザの実施例を示す構成図、

第2図は従来例を示す構成図である。

22…光パルス圧縮器、

23…ダイクロイックミラー、

24…光ファイバ、

25, 26, 27…レンズ。

特許出願人 日本電信電話株式会社

代理人 弁理士 谷 義 一

11…励起光源となるカラーセンタ

レーザ、

12…光結合器となるダイクロイック

ミラー、

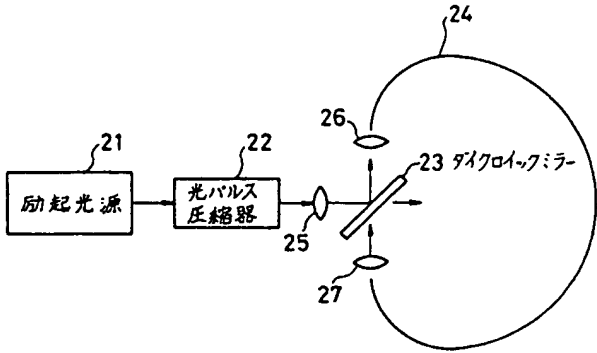
13…1.3μm付近に零分散波長をもつ光ファイバ、

14, 15, 16…レンズ、

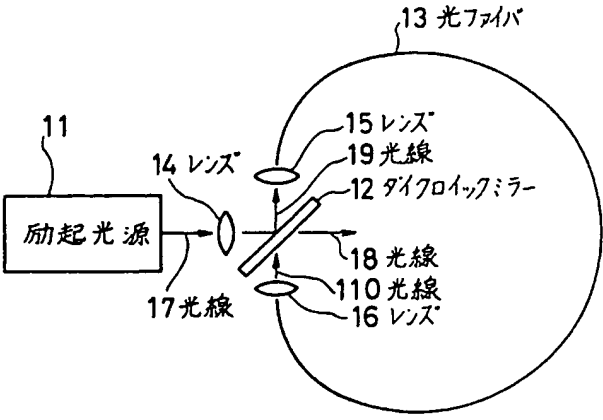
17, 18, 19, 110…光線、

21…YAGレーザまたはエルビウムレーザ、





本発明実施例の構成図  
第 1 図



従来例の構成図  
第 2 図